



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
优秀畅销书

数字电子技术

(第四版)

主 编 江晓安 周慧鑫
副主编 付少锋



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

优秀畅销书

数字电子技术

(第四版)

主 编 江晓安 周慧鑫

副主编 付少锋

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书为第四版,是在普通高等教育“十一五”国家级规划教材(第三版)的基础上修订而成的,内容更加简明、实用。

本书共有9章,内容包括数制与编码、基本逻辑运算及集成逻辑门、布尔代数与逻辑函数化简、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数/模与模/数转换、半导体存储器和可编程逻辑器件等。每章均有一定的例题和练习题。

本书配有由西安电子科技大学出版社出版的《数字电子技术学习指导与题解》,可供读者学习时使用。

编者集40多年的教学经验,综合有关专业的大纲要求编写了本教材。本书适应面较宽,适用于高等工科院校有关专业本科生、高职高专学生及自考生,也可供电子技术领域的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/江晓安,周慧鑫主编. —4版.

—西安:西安电子科技大学出版社,2015.2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5606-3549-1

I. ①数… II. ①江… ②周… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 018194 号

策 划 毛红兵

责任编辑 李惠萍 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2015年2月第4版 2015年2月第38次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.5

字 数 362千字

印 数 278 001~284 000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-3549-1/TN

XDUP 3841004 - 38

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

本次修订是在前三版的基础上进行的。本版仍保持原书通俗易懂、重点突出、突出中规模集成电路的应用、内容少而精的特点，对各章进行适当整理并修订了部分内容。此次修订的主要部分如下：

第一章，变动不大，主要是对内容的描述和例题进行了适当变动，使其更易学好懂。

第二章，主要变动是集成逻辑门部分，针对我们主要应用的是集成逻辑门电路，突出外特性和参数的描述、双极型三极管门电路和单极型 MOS 管门电路的性能比较以及应用较广泛的开路门和三态门电路，对集成逻辑门电路的内部电路基本不涉及。

第三章，基本没有变动。

第四章，在全加器的应用举例中，增加补码运算部分的内容和集成译码器应用的举例。

第五章，基本没有变动。

第六章，重新编写了序列信号产生电路，突出了移位型和计数型这两种序列信号产生电路的设计和分析。

第七章，基本没有变动。

第八章，增加了 $\Sigma - \Delta$ ABC 转换电路。

第九章，考虑许多学校开设了相关的 EDA 课程，如“硬件描述语言”、“FPLD”、“可编程逻辑器件”等，本章对可编程器件部分仅作了一般的介绍。

参加此次修订的有西安电子科技大学江晓安教授、周慧鑫教授和付少锋副教授。

本书适合作为高等学校相关专业本科、高职学生“数字电子技术”或“数字逻辑电路”课程的教材，也可供自学考试、夜大、函大和远程教学相关专业选用。

由于编者水平有限，书中一定存在一些不妥之处，欢迎读者指正。

编 者

2014 年 9 月

第三版前言

“电子技术”课程(含“模拟电子技术”和“数字电子技术”)是电子信息类专业重要的专业基础课,它不仅是相关后续课程的基础,同时也是今后工作中十分重要的技能基础。因此,学好“电子技术”课程,对于电子信息类专业的学生而言是十分重要的。

由于“电子技术”课程是电子类专业的必修课,不管本科或高职,对该课程的基本要求是一致的,只是在深度和广度上有些不同,因此编写本书时总的思路是:精选内容,讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法。

本书在具体内容上突出了集成电路的原理和应用,如集成组合逻辑电路、集成计数器、集成移位寄存器的应用等,而较大地削弱了用门电路实现组合电路、用触发器实现时序电路的内容。

在具体教学实施过程中,建议同时开设 EDA(电子设计自动化)仿真系统课程,使学生掌握如何在计算机上实现相关的数字系统,了解新的数字系统的设计方法,这样有利于该课程的学习和掌握。

为便于读者学习,笔者同时还编写了《数字电子技术学习指导书》(已由西安电子科技大学出版社出版),配合本教材使用。

该书的此次修订版被列选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。修订中笔者对相关内容进行了调整和整合,责任编辑对书稿进行了重新编辑加工,修正了错误,规范了文字及其它细节。参加此次修订的有西安电子科技大学教授兼西安欧亚学院教授江晓安、杨颂华和西安电子科技大学副教授董秀峰。

本书适合作为高等学校相关专业本科、高职学生“数字电子技术”课程的教材,也可供自学考试、夜大、函大和远程教学相关专业的学生选用。

由于编者水平有限,书中一定存在错误和不妥之处,欢迎读者指正。

编者

2008年3月

—— 第二版前言 ——

本书是在《数字电子技术》(第一版)(江晓安等编著,1993年由西安电子科技大学出版社出版)的基础上,经过总结、提高、修改而成的。书中保留了《数字电子技术》(第一版)的特征,并作了如下调整:

——将原第六、七章合为一章,即现在的第六章“时序逻辑电路”;

——增加了可编程逻辑器件的内容。考虑到课时数的限制,这一章主要介绍可编程逻辑器件的发展及相关器件的原理。对于如何应用这些器件,本书未作详细介绍,读者如若需要,可参阅其它参考资料。为适应科学技术的发展,建议另开一门“可编程器件原理和应用”课。

全书共9章,第一、二、八章由董秀峰负责修订,其它章由江晓安负责修订,杨颂华参加了第九章的修订,最后由江晓安统稿与定稿。

为满足不同专业的需求,有的内容加了*号,供相关专业选用。

由于“数字电路”课程是一门主干专业基础课,故本科、专科对本门课程的基本要求是一致的,只是在深度和广度上有所区别,教师在讲授时应掌握好尺度。

本书既可作为高等学校电子信息类专业本科生“数字电子技术”课程的教材,也可作为高职高专学校相关专业的教材,同时还可用作自考、夜大、函大相应专业的教材。2002年本书被陕西省高等教育自学考试委员会办公室指定为陕西省自学考试电子技术、医用电器和通信技术三个专业的“数字电路”课程的使用教材。

本书再版得到了陕西省高等教育自学考试委员会办公室王浩、王巨勇同志和西安电子科技大学出版社领导的大力支持;编辑刘巧艳进行了认真、负责的工作,在此对他们表示感谢。

对于书中存在的缺点和错误,敬希读者批评指正。

编 者
2002年4月

第一版前言

电子技术分为模拟电子技术和数字电子技术。数字电子技术是当前发展最快的学科之一。就逻辑器件而言,已经从20世纪40年代的电子管、20世纪50年代的晶体管、20世纪60年代的小规模集成电路(SSI),发展到现在的中规模集成电路(MSI)、大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)。近几年又出现了可编程逻辑器件,为数字电路设计提供了更加完善、方便的器件。相应地,数字电路的设计过程和方法也在不断地演变和发展。由于半导体技术的迅速发展,微型计算机的广泛应用,使得数字电子技术在现代科学技术领域中占有很重要的地位,在各个领域中得到了广泛的应用。

本书共分11章。第一章讲解了数字电路中所用的数制和编码;第二章讲述了TTL和MOS门电路;第三章是全书的学习基础,讲述了数字技术的数学基础——布尔代数及逻辑函数的化简;第四章讲述组合逻辑电路的分析与设计,重点介绍常用组合逻辑部件(MSI)的原理和应用;第五章为触发器,它是学习时序电路的基础;第六章为同步时序电路的分析与设计;第七章介绍常用的时序逻辑部件,主要讲述了计数器和移位寄存器的设计、分析及集成计数器、移位寄存器的应用;第八章讲述脉冲产生电路和定时电路,主要讲述555定时电路及其应用;第九章为数/模、模/数转换电路;第十章介绍了大规模集成电路ROM和PLA在数字电路中的应用,第十一章介绍了可编程逻辑器件(PLD)。

本书在内容选取和安排上,注重突出基本概念、基本理论和基本方法,并为读者提供独立分析和设计逻辑电路的工具,主要讲述分析和设计的方法,不追求系统性和完整性。例如对于逻辑函数的标准式,只讲述常用的最小项标准式,而最大项的概念就不引入;对于时序电路,我们只讲述同步时序电路的分析与设计,而异步时序电路的分析与设计就不介绍。为了适应科学技术的发展,本书除了讲述传统的逻辑技术外,还用较多的篇幅讲述了MSI和LSI在数字技术中的应用。

为便于读者自学,着重讲清思路,交待方法,并附有一定量的例题和练习题,文字上力求叙述流畅,说理清楚。同时,我们还编写了《数字电子技术学习指导与题解》,可配合本书使用。

本书适合作为高等工科院校有关专业本科生教材,也可作为专科生“数字电子技术”课程的教材,还适合自学考试、夜大、函大、职大的学生选用。

本书的出版得到了西安电子科技大学王和平同志、吕建伟同志、付长进同志的支持和帮助,在此表示谢意。

由于编者水平有限,时间又较紧,书中一定有不少错误和不妥之处,欢迎读者指正。

编者

1993年3月

目 录

第一章 数制与编码

1.1 进位计数制	1
1.1.1 十进制	1
1.1.2 二进制	2
1.1.3 八进制和十六进制	2
1.2 数制转换	3
1.2.1 其它进制数与十进制数相互转换	3
1.2.2 二进制数与八进制数、十六进制数的相互转换	5
1.3 编码	6
1.3.1 二—十进制(BCD)码	6
1.3.2 可靠性代码	8
1.3.3 字符代码	9
练习题	10

第二章 基本逻辑运算及集成逻辑门

2.1 基本概念	12
2.1.1 逻辑变量与逻辑函数	12
2.1.2 真值表	12
2.2 三种基本逻辑运算	13
2.2.1 与逻辑(与运算、逻辑乘)	14
2.2.2 或逻辑(或运算、逻辑加)	14
2.2.3 非逻辑(非运算、逻辑反)	15
2.3 常用的复合逻辑	16
2.3.1 “与非”逻辑	16
2.3.2 “或非”逻辑	16
2.3.3 “与或非”逻辑	17
2.3.4 “异或”逻辑与“同或”逻辑	17
2.3.5 正负逻辑	19
2.4 集成逻辑门电路	19
2.4.1 TTL 集成逻辑门电路	20
2.4.2 CMOS 集成逻辑门电路	21
2.4.3 集成逻辑门电路的特性与参数	21
2.4.4 开路门与三态门	25
2.4.5 集成逻辑门在使用中的实际问题	27
练习题	31

第三章 布尔代数与逻辑函数化简

3.1 基本公式和法则	34
3.1.1 基本公式	34
3.1.2 基本法则	36
3.1.3 基本公式的应用	37
3.2 逻辑函数的代数法化简	39
3.2.1 逻辑函数与逻辑图	39
3.2.2 逻辑函数的化简原则	40
3.2.3 与或逻辑函数的化简	40
3.3 卡诺图化简	42
3.3.1 卡诺图化简的基本原理	42
3.3.2 逻辑函数的标准式——最小项	43
3.3.3 卡诺图的结构	45
3.3.4 逻辑函数的卡诺图表示法	46
3.3.5 相邻最小项合并规律	46
3.3.6 与或逻辑的化简	47
3.3.7 其它逻辑形式的化简	50
3.3.8 无关项及其应用	53
* 3.3.9 有原变量无反变量的逻辑函数的化简	55
3.3.10 多输出函数的化简	61
练习题	62

第四章 组合逻辑电路

4.1 组合逻辑电路的分析	65
4.2 组合逻辑电路的设计	67
4.3 常用中规模组合逻辑部件的原理和应用	69
4.3.1 半加器与全加器	71
4.3.2 编码器与译码器	80
4.3.3 数据选择器与多路分配器	94
4.3.4 数字比较器	101
4.4 组合逻辑电路中的竞争与冒险	104
4.4.1 竞争现象	104
4.4.2 冒险现象	104
4.4.3 冒险现象的判别	105
4.4.4 冒险现象的消除	106
练习题	108

第五章 触 发 器

5.1 时序电路概述	113
5.1.1 时序电路的特点	113
5.1.2 时序电路的分类	114

5.1.3 状态表和状态图	114
5.2 基本触发器	117
5.2.1 基本 RS 触发器	117
5.2.2 时钟控制的 RS 触发器	119
5.2.3 D 触发器	120
5.2.4 T 触发器	121
5.2.5 JK 触发器	123
5.2.6 基本触发器的空翻和振荡现象	124
5.3 集成触发器	125
5.3.1 维持阻塞触发器	125
5.3.2 边沿触发器	126
5.3.3 主从触发器	126
5.3.4 触发器的直接置位和直接复位	127
5.3.5 触发器的逻辑符号比较	128
练习题	129

第六章 时序逻辑电路

6.1 时序电路的分析	133
6.1.1 同步时序电路分析举例	133
6.1.2 异步时序电路分析举例	137
6.2 同步时序电路的设计	138
6.3 计数器	146
6.3.1 计数器的分类	146
6.3.2 2^n 进制计数器组成规律	146
6.3.3 集成计数器功能分析及其应用	149
6.4 寄存器与移位寄存器	159
6.4.1 寄存器	159
6.4.2 移位寄存器	160
6.4.3 集成移位寄存器功能分析及其应用	162
6.5 序列信号发生器	169
6.5.1 移位型序列信号产生电路	169
6.5.2 计数型序列信号产生电路	171
练习题	172

第七章 脉冲波形的产生与变换

7.1 概述	177
7.2 555 定时电路	178
7.2.1 基本组成	178
7.2.2 工作原理及特点	179
7.3 单稳态电路	180
7.3.1 电路组成	180
7.3.2 工作原理	180

7.4 多谐振荡器 182

7.4.1 电路组成 182

7.4.2 工作原理 183

7.5 施密特电路 185

7.5.1 电路组成 185

7.5.2 工作原理 186

7.5.3 主要应用 186

练习题 187

第八章 数/模与模/数转换

8.1 DAC 189

8.1.1 DAC 的基本概念 189

8.1.2 DAC 的电路形式及工作原理 191

8.1.3 集成 DAC 194

8.2 ADC 194

8.2.1 ADC 的组成 194

8.2.2 ADC 电路 196

8.2.3 ADC 的主要技术指标 206

8.2.4 集成 ADC 207

练习题 208

第九章 半导体存储器和可编程逻辑器件

9.1 半导体存储器 210

9.1.1 只读存储器(ROM) 211

9.1.2 ROM 在组合逻辑设计中的应用 212

9.1.3 ROM 的编程及分类 214

9.1.4 随机存取存储器(RAM) 217

9.1.5 存储器容量的扩展 220

9.2 可编程逻辑器件 PLD 221

9.2.1 PLD 的电路简介 222

9.2.2 PLD 的开发 229

练习题 232

附录一 常用逻辑符号对照表..... 235

附录二 数字集成电路的型号命名法..... 237

参考文献..... 238

第一章 数制与编码

数字设备及计算机存在两种不同类型的运算：逻辑运算和算术运算。逻辑运算实际上是实现某种控制功能，而算术运算是对数据进行加工。算术运算的对象是数据，因此对数的基本特征和性质应有所了解。同时，数字设备中采用二进制数，因而，在数字设备中表示的数、字母、符号等等都要以特定的二进制码来表示——这就是二进制编码。所以本章将对数制的一些基本知识进行介绍，同时还将介绍一些常用的编码。

1.1 进位计数制

目前计数通常采用进位计数法。进位计数法是将数划分为不同的数位，按位进行累计，累计到一定数量之后，又从零开始，同时向高位进位。由于位数不同，因此同样的数码在不同的数位中所表示的数值是不同的，低位数值小，高位数值大。进位计数法使用较少的数码就能表示较大的数。

每个数位规定使用的数码符号的总数，称为进位基数，又称进位模数，用 R 表示。若每位数码用 a_i 表示， n 为整数的位数， m 为小数的位数，则进位计数制表示数的式子为

$$N = a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_i\cdots a_1a_0a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}$$

当某位的数码为 1 时所表征的数值，称为该数位的权值。权值随数位的增加呈指数规律增加，最低位的权值为 1，第 i 位的权值为 R^i 。这样，第 i 位数码 a_i 所表示的绝对值就是数码 a_i 乘上该位数的权值，即 $a_i \times R^i$ 。故上式可写成下述按权展开式

$$N = a_{n-1}R^{n-1} + \cdots + a_iR^i + \cdots + a_0R^0 + a_{-1}R^{-1} + \cdots + a_{-m}R^{-m}$$

该式对任何进位制均是适用的。

1.1.1 十进制

十进制是人们最熟悉的一种数制，它的进位规则是“逢十进一”。每位数码用下列十个符号之一表示，即 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9。

例如一个多位十进制数为

$$N = (1989.524)_D$$

下标 D 表示十进制数。根据位权的概念写出按权展开式：

$$N = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2} + 4 \times 10^{-3}$$

在数字设备中一般都不直接采用十进制，因为要用 10 个不同的电路状态来表示十进

制的 10 个数码，既困难，又不经济。

1.1.2 二进制

二进制是目前数字设备、计算机采用的数制。它的进位规则是“逢二进一”，每位数码只有下列两个符号：0, 1。而表示两种状态的电路是很容易实现的，例如，三极管的导通与截止，节点电位的高与低，继电器的闭合与断开等。

一个多位二进制数表示如下：

$$N = (1101.01)_B$$

下标 B 表示为二进制。其按权展开式为

$$N = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

为便于理解和熟悉二进制，下面列出十进制数和二进制数的关系式：

$$\begin{aligned}(1101.01)_B &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 4 + 1 + 0.25 = (13.25)_D\end{aligned}$$

二进制书写起来太长，故在数字设备和计算机中，常采用八进制或十六进制，可有效地缩短字长。因 $8=2^3$ ， $16=2^4$ ，故一位八进制数相当于三位二进制数，一位十六进制数相当于四位二进制数，这样就分别将字长缩短为原来的 $1/3$ 和 $1/4$ 。

1.1.3 八进制和十六进制

八进制的进位规则是“逢八进一”，每位数码用下列八个符号之一表示：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。

一个多位八进制数表示如下：

$$N = (37.4)_O$$

下标 O 表示为八进制。其按权展开式为

$$\begin{aligned}N &= 3 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} \\ &= 24 + 7 + 0.5 = (31.5)_O\end{aligned}$$

十六进制的进位规则是“逢十六进一”，每位数码用下列 16 个符号之一表示：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F。

一个多位十六进制数表示如下：

$$N = (9A.8)_H$$

下标 H 表示为十六进制。其按权展开式为

$$\begin{aligned}N &= 9 \times 16^1 + A \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} \\ &= 144 + 10 + 0.5 = (154.5)_D\end{aligned}$$

为便于比较，表 1-1 列出不同数制的对照关系。由表可以十分方便写出二进制与八进制、十六进制的关系：

$$10101100.1001 = (254.44)_O = (AC.9)_H$$

由于二进制机器实现起来十分容易，而十进制为人们熟悉，八进制和十六进制可压缩字长，因此，这几种数制都会用到，这样必然会遇到不同数制之间的转换问题。

表 1-1 几种进位制对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0	0	0	11	1011	13	B
1	1	1	1	12	1100	14	C
2	10	2	2	13	1101	15	D
3	11	3	3	14	1110	16	E
4	100	4	4	15	1111	17	F
5	101	5	5	16	10000	20	10
6	110	6	6	17	10001	21	11
7	111	7	7	20	10100	24	14
8	1000	10	8	32	100000	40	20
9	1001	11	9	100	1100100	144	64
10	1010	12	A				

1.2 数制转换

1.2.1 其它进制数与十进制数相互转换

1. 其它进制数转换为十进制数

其它进制数转换为十进制数用加权法，即将其它进制数写成按权展开式，然后各项相加，则得相应的十进制数。

[例 1] $N = (1011.011)_B = (?)_D$

按权展开

$$\begin{aligned}
 N &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\
 &= 8 + 2 + 1 + 0.25 + 0.125 = (11.375)_D
 \end{aligned}$$

今后数码为 0 的那些项可以不写。

[例 2] $N = (153.07)_O = (?)_D$

$$\begin{aligned}
 N &= 1 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 7 \times 8^{-2} \\
 &= 64 + 40 + 3 + 0.109\ 375 \\
 &= (107.109\ 375)_D
 \end{aligned}$$

[例 3] $N = (E93.A)_H$

$$\begin{aligned}
 N &= 14 \times 16^2 + 9 \times 16^1 + 3 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1} \\
 &= 3584 + 144 + 3 + 0.625 \\
 &= (3731.625)_D
 \end{aligned}$$

2. 十进制数转换为其它进制数

十进制数分为整数和小数两部分，它们的转换方法不同。

整数转换，采用基数除法，即将待转换的十进制数除以将转换为新进位制的基数，取其余数，其步骤如下：

- (1) 将待转换十进制数除以新进位制基数 R ，其余数作为新进位制数的最低位(LSB)；
- (2) 将前步所得之商再除以新进位制基数 R ，记下余数，作为新进位制数的次低位；
- (3) 重复步骤(2)，将每次所得之商除以新进位制基数，记下余数，得到新进位制数相应的各位，直到最后相除之商为 0，这时的余数即为新进位制数的最高位(MSB)。

[例 4] $(241)_D = (?)_B = (?)_O = (?)_H$

2	241	 余数为 1	LSB	b_0
2	120	 0		b_1
2	60	 0		b_2
2	30	 0		b_3
2	15	 1		b_4
2	7	 1		b_5
2	3	 1		b_6
2	1	 1	MSB	b_7
	0			
8	241	 余数为 1	LSB	o_0
8	30	 6		o_1
8	3	 3	MSB	o_2
	0			
16	241	 余数为 1	LSB	h_0
16	15	 15	MSB	h_1
	0			

即 $(241)_D = (11110001)_B = (361)_O = (F1)_H$

当得到二进制数后，可直接通过二进制数写出八进制和十六进制数。

纯小数部分的转换，采用基数乘法，即将待转换的十进制的纯小数，逐次乘以新进位制基数 R ，取乘积的整数部分作为新进位制的有关数位。步骤如下：

- (1) 将待转换的十进制纯小数乘以新进位制基数 R ，取其整数部分作为新进位制纯小数的最高位；
- (2) 将前步所得小数部分再乘以新进位制基数 R ，取其积的整数部分作为新进位制小数的次高位；
- (3) 重复前一步，直到小数部分变成 0 时，转换结束。或者小数部分虽未变成 0，但新进位制小数的位数已达到预定的要求(如位数的要求或者精度的要求)时，转换也可结束。

[例 5] $(0.875)_D = (?)_B$

0.875	}	
$\times 2$		
1.750		 整为 1 b_{-1}
2		
1.500	}	 1 b_{-2}
2		
1.000		 1 b_{-3}

即

$$(0.875)_D = (0.111)_B$$

[例 6] $(0.39)_D = (?)_B$

$0.39 \times 2 = 0.78$	$b_{-1} = 0$
$0.78 \times 2 = 1.56$	$b_{-2} = 1$
$0.56 \times 2 = 1.12$	$b_{-3} = 1$
$0.12 \times 2 = 0.24$	$b_{-4} = 0$
$0.24 \times 2 = 0.48$	$b_{-5} = 0$
$0.48 \times 2 = 0.96$	$b_{-6} = 0$
$0.96 \times 2 = 1.92$	$b_{-7} = 1$
$0.92 \times 2 = 1.84$	$b_{-8} = 1$
$0.84 \times 2 = 1.68$	$b_{-9} = 1$
$0.68 \times 2 = 1.36$	$b_{-10} = 1$
$\vdots$	

即

$$(0.39)_D = (0.0110001111\cdots)_B$$

此例中不能用有限位数实现准确的转换。转换后的小数究竟取多少位合适呢？实际中常用指定转换位数，如指定转换为八位，则 $(0.39)_D = (0.01100011)_B$ ；也可根据转换精度确定位数。如此例要求转换精度优于 0.1%，即引入一个小于 $1/2^{10} = 1/1024$ 的舍入误差，则转换到第十位时，转换结束。

如果是一个有整数又有小数的数，则整数小数应分开转换，再相加得转换结果。

[例 7] $(52.375)_D = (?)_B$

整数为 52，按整数转换方法——基数除法进行转换。

2	52		0	$b_0 = 0$
2	26		0	$b_1 = 0$
2	13		1	$b_2 = 1$
2	6		0	$b_3 = 0$
2	3		1	$b_4 = 1$
2	1		1	$b_5 = 1$
	0			

即

$$(52)_D = (110100)_B$$

小数为 0.375，按基数乘法转换

$0.375 \times 2 = 0.75$	$b_{-1} = 0$
$0.75 \times 2 = 1.5$	$b_{-2} = 1$
$0.5 \times 2 = 1.0$	$b_{-3} = 1$

所以

$$(0.375)_D = (0.011)_B$$

即

$$(52.375)_D = (110100.011)_B$$

1.2.2 二进制数与八进制数、十六进制数的相互转换

由于二进制数与八进制数和十六进制数之间正好满足 2^3 和 2^4 关系，因此它们之间的转换十分方便。

二进制数转换为八进制数、十六进制数时，将二进制数由低位向高位每三位或每四位一组，若最高位一组不足位，则整数在有效位左边加 0，小数在有效位的右边加 0，然后按每组二进制数转换为八进制数或十六进制数。

[例 8] $(111010101.110)_B = (?)_O = (?)_H$

$$\begin{aligned}(111010101.110)_B &= 111/010/101.110 = (725.6)_O \\ &= 0001/1101/0101.1100 = (1D5.C)_H\end{aligned}$$

八进制数、十六进制数转为二进制数是上述的逆过程，分别将每位八进制数或十六进制数用二进制代码写出来，然后写成相应的二进制数。

[例 9] $(563)_O = (?)_B, (563)_H = (?)_B$

$$\begin{aligned}(563)_O &= 101/110/011 = (101110011)_B \\ (563)_H &= 0101/0110/0011 = (1010110011)_B\end{aligned}$$

当要求将八进制数和十六进制数相互转换时，可通过二进制来完成。

[例 10] $(8FC)_H = (?)_O$

$$\begin{aligned}(8FC)_H &= 1000/1111/1100 = (100011111100)_B \\ &= 100/011/111/100 \\ &= (4374)_O\end{aligned}$$

1.3 编 码

在数字设备中，任何数据和信息都是用代码来表示的。在二进制中只有两个符号，如有 n 位二进制，它可有 2^n 种不同的组合，即可以代表 2^n 种不同的信息。指定某一组合去代表某个给定的信息，这一过程就是编码，而将表示给定信息的这组符号叫做码或代码。实际上，前面讨论数制时，我们用一组符号来表示数，这就是编码过程。由于指定可以是任意的，故存在多种多样的编码方案。本节将讨论几种常用的编码。

1.3.1 二—十进制(BCD)码

由于二进制机器容易实现，所以数字调和中广泛采用二进制。但是，人们对十进制熟悉，对二进制不习惯。兼顾两者，我们用一组二进制数符来表示十进制数，这就是用二进制码表示的十进制数，简称 BCD 码(Binary Coded Decimal 的缩写)。它具有二进制数的形式，却又具有十进制数的特点。它可以作为人与数字系统联系的一种中间表示。

一位十进制数有 0~9 十个数符，必须用四位二进制数来表示，而四位二进制数有十六种组态，指定其中的任意 10 个组态来表示十进制的十个数，其编码方案是很多的，即

$$A_{16}^{10} = \frac{16!}{(16-10)!} \approx 2.9 \times 10^{10}$$

而目前使用的编码还未到十种。BCD 编码大致分为有权 BCD 码和无权 BCD 码。从十六种组合中取出 10 种组合，组成 BCD 码，余下的 6 种组合对应的代码为非法码，不允许出现，否则将产生错误。

1. 有权 BCD 码

在有权 BCD 码中，每一个十进制数符均用一个四位二进制码来表示，这四位二进制码